

Kurzfassung der Dissertation von Ilona Rolfes zu dem Thema:

Methoden zur Präzisions-Messung der Streu- und Rauschparameter linearer Zweitore im Mikrowellenbereich

Im Mikrowellenbereich werden die deterministischen Eigenschaften linearer Zweitore mit Hilfe von Streuparametern beschrieben. Die Streuparameter liefern einen Zusammenhang zwischen den an den Toren ein- und ausfallenden Wellen. Die Beschreibung der Rauscheigenschaften erfolgt auf der Basis vier reeller Rauschparameter, die sich aus Rauschersatzschaltungen durch Einfügen von Rauschersatzquellen an den Toren des Vierpols ableiten lassen. Die Rauschparameter sind durch die minimale Rauschzahl F_{min} , den Real- und Imaginärteil der optimalen Generatoradmittanz G_{opt} und B_{opt} und den äquivalenten Rauschwiderstand R_n gegeben. Auf der Basis der Streu- und Rauschparameter läßt sich das Kleinsignalverhalten eines Zweitores vollständig beschreiben. Diese Parameter bilden die Grundlage zur umfassenden Simulation des linearen Verhaltens von Mikrowellenschaltungen. Zum Beispiel bei der Entwicklung von Verstärkern zum Einsatz in Systemen der Kommunikationstechnik ist die Kenntnis der Streu- und Rauschparameter des verstärkenden Elementes von entscheidender Bedeutung.

Die Arbeit beschäftigt sich zum Einen mit Methoden zur robusten Bestimmung der Rauschparameter und zum Anderen mit Verfahren zur präzisen Vermessung der Streuparameter linearer Zweitore.

Die klassische Methode zur Bestimmung der Rauschparameter beruht auf der Messung der Rauschzahl des Messobjektes für unterschiedliche Admittanzen des Rauschgenerators. Problematisch bei diesem Verfahren ist, die effektive Übertemperatur der Rauschquelle exakt zu kennen. Algorithmen, die auf Rauschleistungsmessungen bei Umgebungstemperatur (kalte Messungen) und nur einer Messung bei einer Übertemperatur (heiße Messung) beruhen, umgehen dieses Problem mit dem Nachteil, dass sie die Messung des Messobjekteingangsreflexionsfaktors mit Hilfe eines Netzwerkanalysators erfordern.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methoden, das 4-Zustands- und das 7-Zustands-Verfahren, ermöglichen, den Eingangsreflexionsfaktor des Messobjektes zusammen mit seinen Rauschparametern zu ermitteln. Auf diese Weise läßt sich die Genauigkeit der Messungen verbessern, da das Messsystem nicht durch mehrmaliges Kontaktieren der Steckerverbindungen gestört wird. Das 7-Zustands-Verfahren erweist sich dabei als besonders vorteilhaft, da es erlaubt, den Messobjekteingangsreflexionsfaktor und die optimale Generatoradmittanz nach Real- und Imaginärteil nur aus kalten Rauschleistungsmessungen zu bestimmen. Die übrigen Rauschparameter sind bis auf einen Vorfaktor ebenso bereits aus den kalten Messungen bekannt. Unter Berücksichtigung einer weiteren heißen Rauschleistungsmessung ist es möglich, den Vorfaktor und damit alle Rauschparameter vollständig zu ermitteln. Es wird ein Rauschparametermesssystem beschrieben, mit dem die hohe Genauigkeit der entwickelten Verfahren anhand von Messungen gezeigt wird.

Zur Bestimmung der komplexwertigen Streuparameter von Bauelementen und Schaltungen sind vektorielle Netzwerkanalysatoren erforderlich, die im Allgemeinen nach dem Heterodynprinzip arbeiten. Netzwerkanalysatoren weisen in der Regel Systemfehler auf, die unter anderem von der Fehlanpassung der Messtore und den Nichtidealitäten der Richtkoppler herrühren. Zur Durchführung von Streuparametermessungen ist es notwendig, die Systemfehler in einem Fehlermodell zu erfassen und die Fehlerparameter im Rahmen einer Kalibrierung zu bestimmen. Die Systemfehler können so in einer anschließenden Korrekturrechnung aus den Messobjektdaten eliminiert werden. Besonders robuste Verfahren, die sogenannten Selbstkalibrierverfahren, ergeben sich für Netzwerkanalysatoren mit vier Messstellen.

In der Arbeit werden unter anderem das Multiple-N sowie das 2-Zustands-Multiple-N und das 3-Zustands-Multiple-N Verfahren vorgestellt. Diese Methoden stellen Selbstkalibrierverfahren dar, bei denen die Kalibrierschaltungen teilweise unbekannte Parameter aufweisen dürfen. Die Vorteile der Verfahren gegenüber bekannten Selbstkalibrierverfahren, wie etwa dem TRL-Verfahren (engl.: Through Reflect Line), liegen insbesondere darin, dass die Kalibrierschaltungen die gleiche mechanische Länge aufweisen. Damit ist eine Änderung des Abstandes zwischen den Kontaktierungsanschlüssen nicht erforderlich und die Anforderungen an die Komplexität der Messvorrichtung lassen sich reduzieren. Gegenüber dem bekannten LNN-Verfahren (engl. Line Network) zeichnet sich das Multiple-N Verfahren dadurch aus, dass es auf der Vermessung von nur drei Kalibrierschaltungen basiert. Das 2-Zustands-Multiple-N Verfahren besitzt den Vorteil, dass die Kalibrierschaltungen im Vergleich zum LNN- und Multiple-N Verfahren nur etwa die halbe mechanische Länge aufweisen, womit der benötigte Platzbedarf der Kalibrieranordnung vergleichsweise gering ist. Speziell dieses Verfahren eignet sich sehr gut für Messungen im Freiraum. Das 3-Zustands-Multiple-N Verfahren ermöglicht die vollautomatische Kalibrierung vektorieller Netzwerkanalysatoren zum Beispiel mit Hilfe elektronischer Schalter. Damit lassen sich Reproduzierbarkeitsfehler durch Unsicherheiten bei der Kontaktierung der Kalibrierschaltungen vermeiden. Die im Rahmen der Arbeit entwickelten robusten Kalibrierverfahren werden anhand von Simulationen und Messungen verifiziert.